

RES PVBLICA LITTERARVM

Documentos de trabajo del grupo de investigación 'Nomos'



Lucio Anneo
SÉNECA

Instituto de Estudios Clásicos
sobre la Sociedad y la Política

Suplemento monográfico “Tradición Clásica y Universidad”

2008-03

Consejo de redacción

Director:

Francisco Lisi Bereterbide (Universidad Carlos III de Madrid)

Secretario:

Jorge Cano Cuenca (Universidad Carlos III de Madrid)

Comité de redacción:

Lucio Bertelli (Università di Torino)

Miguel Ángel Ramiro (Universidad Carlos III de Madrid)

David Hernández de la Fuente (Universidad Carlos III de Madrid)

Fátima Vieira (Universidade do Porto)

Ana María Rodríguez González (Universidad Carlos III de Madrid)

Franco Ferrari (Universidad de Salerno)

Jean François Pradeau (Paris X- Nanterre)

Edita:

Instituto de Estudios Clásicos "Lucio Anneo Séneca"

Universidad Carlos III de Madrid

Edificio 17 "Ortega y Gasset"

C/ Madrid, 133 - 28903 - Getafe (Madrid) - España

Teléfono: (+34) 91 624 58 68 / 91 624 85 59

Fax: (+34) 91 624 92 12

Correo-e: seneca@hum.uc3m.es

D.L. M-24672-2005

ISSN 1699-7840

Autor: Instituto Lucio Anneo Séneca

Editor: Francisco Lisi Bereterbide

ACTIVIDAD CIENTÍFICA EN LOS SIGLOS XV-XVIII: PERVIVENCIA E INFLUENCIA DEL MUNDO CLÁSICO*

Víctor Navarro Brotons
(Universitat de Valencia-CSIC)

Entre los siglos XV y XVII y en el marco de un conjunto de profundas transformaciones económicas, sociales, culturales y políticas, se produjo en Europa la llamada “Revolución científica”, punto de partida de la ciencia moderna. El término “revolución” aplicado al cambio científico comenzó a usarse en la historiografía ilustrada. En nuestros días, se usa sobre todo para subrayar el carácter irreversible, de punto de no-retorno, de los cambios que se produjeron en el periodo citado en los conocimientos sobre la naturaleza, en los instrumentos y métodos empleados para conocerla y en la propia manera de organizar esta actividad cognoscitiva. Tanto la naturaleza exacta de estos cambios como sus causas han sido y siguen siendo objeto de intensas investigaciones por parte de los historiadores de la ciencia. La diversidad de respuestas que se han dado y se dan a estas cuestiones, y el mayor o menor énfasis en unos factores u otros: sociales, económicos, políticos, derivados o no del propio desarrollo “interno” de cada ciencia o del conocimiento, etc, está obviamente asociado con los presupuestos historiográficos e intereses de los distintos autores. A pesar de lo cual hay un cierto consenso en que un sólo grupo de factores, “internos” o “externos” no puede explicar la complejidad del proceso. También en la dificultad de distinguir lo “interno” de lo “externo” y de precisar las mediaciones entre lo uno y lo otro.

Algunos autores han cuestionado la pertinencia de la categoría historiográfica “Revolución Científica”, poniendo énfasis en que el concepto o imagen actual de la ciencia y de sus objetivos es muy diferente al de los siglos XVI y XVII, donde más que de ciencia

* Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto HUM2006-13011-C02-01, Disciplinas, saberes y prácticas científicas en la España Moderna.

habría que hablar de un conjunto de diferentes saberes y prácticas, con ritmos de desarrollo y cambio muy diversos, de modo que hasta el siglo XIX no podemos hablar de ciencia tal y como ahora la entendemos. Estas consideraciones tienen el mérito de alertarnos contra cualquier concepción esencialista de la ciencia que la considere como inmutable en sus rasgos básicos (métodos, objetivos, relaciones con la cultura y el contexto historico-social, etc) e identificable sin ambigüedad en cada periodo histórico, así como divisible en diferentes ciencias que, en cuanto categorías de actividad intelectual, habrían permanecido siendo las mismas. Asimismo, nos recuerdan la exigencia de interpretar el pensamiento y actividades de los científicos del pasado en el contexto de sus propias preocupaciones e intereses, que no coinciden necesariamente con las nuestras, e incluso pueden ser muy diferentes en importantes aspectos. La historia, en definitiva, es un diálogo con el pasado, del que somos herederos, pero ya no existe. Existen continuidades y cambios, a veces difíciles de percibir, que finalmente desembocan en cambios más netos. Y las continuidades, en la historia de la ciencia y de la técnica, no son nunca permanencia de lo mismo, ni copias fieles, sino reelaboraciones y apropiaciones de las ideas y procedimientos anteriores para nuevos fines en nuevos contextos. La dialéctica constante entre la tradición y el cambio, calificada por algún autor como “tensión esencial”, describe bien el devenir de la ciencia. Pero si consideramos la Revolución Científica no como un hecho o una pequeña suma de hechos puntuales, sino como un proceso que duró varios siglos y que estableció las bases de la ciencia moderna, situando a la ciencia en un papel nunca conocido hasta entonces en la cultura y la conciencia europeas, la expresión nos sigue pareciendo perfectamente legítima.

Tampoco puede decirse que haya unanimidad acerca de la periodificación de las distintas etapas o fases de la Revolución Científica. Aunque se suele mencionar a Copérnico y la publicación de la teoría heliocéntrica como punto de partida de esta Revolución, es frecuente que se reserve este calificativo de “revolución”, en el sentido expresado de cambios irreversibles o rupturas, al siglo XVII. Fue entonces cuando Galileo y Kepler comenzaron la construcción de la física y la astronomía modernas desde bases completamente nuevas, Harvey estableció los fundamentos de la nueva fisiología y Descartes formuló los principios del mecanicismo. Desde esta perspectiva, el periodo anterior, es decir, el Renacimiento, tiene como mínimo un *status* ambiguo, tanto en relación con estos cambios del siglo XVII como en relación a la Edad Media, mucho más fecunda desde el punto de vista científico y filosófico de lo que se solía suponer antes de los renovadores estudios de Pierre Duhem y otros autores. Por una parte, muchos de los aspectos de la actividad que podemos calificar, retrospectivamente, de científica, en el Renacimiento, y también aspectos destacados de la

actividad técnica, fueron mera continuación de desarrollos medievales y resulta muy difícil trazar fronteras cronológicas precisas. Pero, por otra parte, en el Renacimiento aparecieron en escena nuevos elementos que, de forma compleja, e incluso contradictoria, contribuyeron notablemente a crear las condiciones de posibilidad de la nueva ciencia y a preparar su emergencia.¹

En este trabajo y para tratar nuestro tema, a saber, la pervivencia de la tradición clásica en el desarrollo de la ciencia en la Edad moderna europea (en la primera modernidad), distinguiré dos periodos: para el primero, que abarca parte del siglo XV y el siglo XVI) conservaré el término de Renacimiento (o Revolución Científica I :el Renacimiento científico). Para el segundo, usaremos el término Revolución científica II: Culminación del Proceso.

El Renacimiento, como es bien sabido, fue un vasto movimiento intelectual que renovó decisivamente la cultura europea en todos los ámbitos (desde la literatura y el arte a la religión, la filosofía y la ciencia) a partir de su matriz en el movimiento humanista. El Renacimiento fue o quiso ser, en primer lugar, una restauración o recuperación de la cultura y del saber clásico. Sus protagonistas consideraron a la cultura de la Antigüedad clásica como el modelo a imitar, una vez traducido a su propia época y mundo y como alternativa a la “barbarie” medieval, según la expresión acuñada por los humanistas. Por ello, plantearon un ambicioso programa de restituir, mediante un depurado trabajo filológico, el auténtico significado de los textos de los grandes escritores y sabios de la Antigüedad, lo que incluía los textos científicos, técnicos y filosóficos. Pero, además, se pretendía restituir el legado clásico en su totalidad. En efecto, había un buen número de textos importantes de este legado poco o mal conocidos en la Edad Media, como la *Geografía* de Ptolomeo, *De rerum natura* de Lucrecio, diversas obras de medicina y de historia natural y una parte importante de las obras de los grandes matemáticos griegos: los alejandrinos Apolonio de Perge (s. III a.C.), Herón, Diofanto (s. III d.C.), Papo (s. IV d.C.), Menelao (fines s. I d.C.), Teodosio (I a.C.), así como Arquímedes, las *Cuestiones Mecánicas* pseudoaristotélicas etc. En esta tarea, humanistas y científicos (frecuentemente también humanistas a su vez) colaboraron estrechamente y estuvieron vinculados a través de relaciones personales y de mecenazgo en un grado muy

¹ Sobre la Revolución Científica en general, pueden verse las síntesis de Clericuzio (2005), Dear (2001), Hall (1985), Henry (1997), Rossi (1998), Sellés, Solís (1994), Westfall (1990) y la parte de Edad Moderna por V. Navarro en Ordóñez et al. (2004). Para el caso español, véase López Piñero (dir.) (2002) y Vernet, Parés (dirs.) (2007). Para el debate historiográfico sobre la Revolución Científica, véase Cohen (2004), Lindberg, Westman (eds) (1990), Osler (2000). See also Navarro, Eamon (2007).

elevado. Los humanistas coleccionaron textos, reunieron magníficas bibliotecas y las pusieron a disposición de los científicos, llegando incluso a incorporarlas a las nuevas enciclopedias del saber, como lo hizo Giorgio Valla (1447-1500) en su *De Expetendis et fugiendis rebus* (1501), donde intentó fusionar las matemáticas, la medicina y la filosofía con los *studia humanitatis*. Así, tras superar la “barbarie” de las traducciones y de las interpretaciones medievales, se pasó a comparar los textos de los clásicos entre ellos, gracias a lo cual se empezaron a descubrir sus contradicciones. Con la misma intención en principio –para ver ejemplificadas las doctrinas clásicas- se procedió también a relacionar su contenido con la observación de la realidad y con las nuevas evidencias. El resultado fue, en este caso, de mucho más alcance, porque la comprobación de lagunas y contradicciones, sumada a la vinculación de los textos a un tiempo y a una situación histórica bien definida, condujo a la crisis del criterio de autoridad como base del conocimiento científico.²

Los humanistas, por otra parte, destruyeron el mito de un libro humano depositario privilegiado de la verdad científica y abrieron el paso a la pluralidad de las doctrinas: además de Platón, también renació la física de los atomistas (Demócrito, Epicuro, Lucrecio) y la cosmología estoica. Como símbolo de su éxito parangonaban la exploración del mundo intelectual de los antiguos con la exploración del mundo terrestre por parte de navegantes y cosmógrafos. Los descubrimientos geográficos tuvieron efectos muy intensos y decisivos en la geografía y en las ideas sobre la forma de la Tierra, resultado de una confrontación profunda entre las concepciones heredadas de la Antigüedad y las nuevas evidencias. Conviene recordar que si bien los griegos afirmaron la esfericidad de la tierra, no estaban de acuerdo en la distribución de las tierras y el agua en su superficie, siendo particularmente influyentes, además de las ideas de Aristóteles (cuyo legado en este sentido fue muy ambiguo), las teorías de Crates de Malos y de Ptolomeo. Crates postuló la existencia de cuatro masas de tierra situadas simétricamente en una esfera entre las que fluían dos grandes océanos-río formando ángulos rectos. Ptolomeo transmitió la idea de una *ecumene* no fragmentada en continentes y situada en la superficie de una esfera. Los océanos estarían separados unos de otros, como lagos. La introducción en el mundo occidental de la *Geografía* de Ptolomeo a partir de la traducción latina iniciada, a finales del XV, por Manuel Crisoloras, y concluida por su discípulo Jacopo d’Angelo en 1406, fue un elemento de muchísima importancia para el desarrollo de la geografía y la cartografía renacentistas. La obra de Ptolomeo representaba una intento riguroso de construir el mapa del mundo sobre la base de

² Sobre el Renacimiento en relación con la filosofía natural y la ciencia véase Garín (1981), Granada (2000), Rose (1975).

principios matemáticos y, además, ofrecía una representación de la forma de la Tierra más próxima a la moderna idea de globo terráqueo que la elaborada por los autores medievales a partir de la tradición aristotélica. Al propio tiempo, aspectos de las ideas geográficas de Ptolomeo, como el supuesto istmo que uniría África con Asia por el sur del océano Índico, representaban obstáculos teóricos que fueron superados empíricamente por los navegantes. Ello es un buen ejemplo de la compleja dialéctica tradición-renovación en la construcción de la ciencia moderna y del papel que desempeñaron los clásicos, papel que se resiste a cualquier simplificación apresurada en un sentido progresivo o retardatorio (en cuanto autoridades incuestionables). De hecho, los modelos clásicos de la distribución de las tierras y las aguas no se abandonaron por contradecir aparentemente determinados hechos (como el istmo postulado en la *Geografía* de Ptolomeo), sino que hubo un esfuerzo reiterado por readaptar esos modelos a los nuevos descubrimientos. Así, el modelo de Crates se usó para comprender la naturaleza del continente americano y servir de guía a sus exploradores en su búsqueda de estrechos o pasajes noroeste y suroeste; asimismo, la teoría ptolemaica de los océanos cerrados como cuencas sirvió como un modelo para entender la naturaleza continua de la costa americana. Y la creencia en la existencia de un enorme continente austral pervivió durante mucho tiempo.³

Aunque la Revolución científica afectó a todas las ramas del saber, parece indudable que los cambios más dramáticos tuvieron lugar en mecánica, astronomía y cosmología. Cambios que condujeron a la sustitución de la idea griega de cosmos como un todo finito, ordenado y jerárquico por la de un universo indefinido o infinito unido por la identidad de sus leyes y cuyo punto de partida podemos representar en la obra del polaco Nicolás Copérnico (1473-1543). Pero la labor de Copérnico y sus audaces propuestas hay que enmarcarlas en la creciente atención concedida en el Renacimiento hacia la astronomía y las disciplinas matemáticas, atención relacionada a su vez con el humanismo y con el proyecto humanista de restitución del legado clásico, que, como hemos adelantado, incluía las obras de los grandes matemáticos y astrónomos de la Antigüedad. A lo que hay que añadir la importancia del renovado interés por Platón, los autores neoplatónicos, los atomistas y las doctrinas estoicas, que ofrecían o sugerían ideas cosmológicas diferentes a las aristotélicas.

La reforma de la astronomía que Copérnico llevó a cabo implicó profundos y decisivos cambios en las ideas cosmológicas (ideas deudoras también en importantes aspectos de la

³ Sobre los efectos de los descubrimientos geográficos, véanse los trabajos de Randles (1983, 1985, 1990), Besse (), Livingstone (1992), Vogel (1995) y la introducción a la edición de Ptolomeo (1983). Véase también Ordóñez et. al (2004) y los trabajos reunidos en Navarro Brotons, Eamon (2007).

tradición clásica), pero se basó ampliamente en la tradición ptolemaica en cuanto a sus aspectos matemáticos, gracias al mejor conocimiento que se tenía de esta tradición a través de obras como el *Epítome del Almagesto* de Georg Peurbach (1423-1461) y Johannes Regiomontano (1436-1476), profesores de la Universidad de Viena y auténticos humanistas-astrónomos. De hecho, y si exceptuamos la innovación fundamental de Copérnico de considerar a la Tierra un planeta más, en astronomía matemática fue un continuador de la tradición que va de Hiparco y Ptolomeo a Regiomontano. Y en cuanto al heliocentrismo, el propio Copérnico nos dice que indagó entre los autores de la Antigüedad buscando opiniones diferentes a las que habitualmente se enseñan en las escuelas y encontró que algunos autores habían afirmado que la Tierra se movía. Es decir, Copérnico trató de enmarcar su reforma astronómico-cosmológica dentro del humanismo cristiano de su época.⁴

También en la reforma de la anatomía, cuyo representante más famoso fue Andrés Vesalio (1514-1564), tuvo una gran influencia el movimiento cultural humanista con su proyecto de recuperar el legado clásico en su integridad, incluidas las grandes obras de los médicos griegos. Desde finales del XV, humanistas y médicos comenzaron a coleccionar, traducir y publicar los textos de Galeno en el original griego para entender a Galeno a través del propio Galeno y verificar mediante disecciones sus afirmaciones. En su famosa obra *De humani corporis fabrica* (1543), Vesalio planteó la necesidad de una renovación de la anatomía y de su enseñanza que exigía reconocer el carácter erróneo de la morfología galénica, ya que la anatomía de Galeno se basaba en la disección de animales. Para Vesalio el cuerpo era un texto mejor que los escritos de Galeno y donde Galeno difería del cuerpo, entonces debía ser ignorado. El mensaje de la *Fabrica* está expresado en palabras y en imágenes. Su frontispicio representa al autor como disector y expositor ante un gran número de espectadores, que incluye a los sabios de la Antigüedad: el anatomista aparece situado en el contexto de una gran historia, en la cual “la casa del alma, como dice Platón” es examinada en un templo a la antigua o en un *theatrum* de anatomía. Pero, en cuanto al contenido de la obra, la *Fabrica* no se aparta mucho de los textos del galenismo humanista, y sus rectificaciones o correcciones a Galeno no son abundantes. Además, esta obra no debe caracterizarse como el triunfo de la

⁴ Véase el estudio que acompaña a nuestra traducción catalana del primer libro de *De revolutionibus* y la bibliografía reunida en este trabajo. En particular, véase Koyré (1961), Kuhn (1978), Blumemberg (1981), Elena (1985), y para un estudio exhaustivo de la obra de Copérnico, véase Swerdlow, Neugebauer (1984).

observación sobre el texto. Es un producto típico del Renacimiento, que combina la mirada hacia delante con el deseo de recrear de nuevo las conquistas del pasado.⁵

Junto a la enorme influencia y pervivencia de Galeno en la anatomía renacentista, hay que señalar la no menos relevante pervivencia del Aristóteles biólogo. En este sentido destaca la extraordinaria actividad de Girolamo Fabrizzi d'Acquapendente (1537-1619), maestro de Harvey en Padua. Fabrizzi trató de continuar el programa de Aristóteles de estudiar el “animal” y su economía o la estructura-función y de dar cuenta de la correlación entre las estructuras y las diferentes dietas, hábitos y dentición de los diferentes animales. La fase final era el descubrimiento de la “utilidad”, la causa final del órgano.⁶

La historia natural renacentista, es decir, el inventario, descripción y estudio de los objetos de la naturaleza: minerales, vegetales y animales, también partió de los modelos clásicos y se sirvió ampliamente de los escritos de Aristóteles y de los de sus discípulos y comentadores, así como del enciclopedismo (Plinio, sobre todo) y de obras como la *Materia Médica* de Dioscórides. Y en el desarrollo de la botánica en este periodo hay que destacar asimismo la enorme influencia de las obras de esta materia de Teofrasto, Plinio, Dioscórides y Galeno, facilitadas por la labor de edición y traducción de los humanistas. Pero, además, con sus propuestas de reforma educativa los humanistas contribuyeron también a que se estudiaran las plantas no solamente por su utilidad terapéutica sino por su valor de conocimiento del mundo natural.⁷

El redescubrimiento del mundo clásico fomentó entre los humanistas, no solamente la búsqueda de manuscritos y códices, sino también el coleccionismo arqueológico y, en general, de objetos artificiales y naturales. Estas colecciones, inicialmente reunidas en los estudios o salas de los humanistas, cortesanos y príncipes, son el origen de los museos, y reflejan también el creciente interés por la cultura material por parte de los médicos, farmacéuticos, matemáticos y filósofos de la naturaleza. Junto con los jardines botánicos, desempeñaron un papel importante en el desarrollo de la historia natural como disciplina.⁸

En las matemáticas puras, los textos de los matemáticos griegos más destacados proporcionaron a los matemáticos del Renacimiento los conocimientos técnicos a partir de los cuales se desarrolló la labor de los científicos del XVII que construyeron la nueva física, la

⁵ Sobre el galenismo, véase Temkin (1973), Nutton (1988). Sobre Vesalio, además de Nutton, véase la biografía ya clásica de O' Malley (1964), y la de Barón Fernández (1970). También Cunningham (1997).

⁶ Véase Cunningham (1985, 1997) y Pagel (1979).

⁷ Véase Redes (1976, 1991).

⁸ La literatura sobre el coleccionismo crece continuamente. Algunos títulos destacados: Pomian (1987). Olmi (1992), Findlen (1994), y para el caso de España, Gómez López (2005).

nueva astronomía y nuevas ramas de las matemáticas, como la geometría analítica y el cálculo infinitesimal. Entre los autores que se ocuparon de editar, estudiar, desarrollar y difundir las obras de los matemáticos griegos destacaremos a Francesco Maurolico (1494-1575) y el grupo de la llamada “escuela de Urbino”: Federico Commandino (1509-1579), Guidobaldo dal Monte (1545-1617) y Bernardino Baldi (1553-1617). La ciudad de Urbino había sido un centro de ingeniería militar impulsado por una serie de príncipes beligerantes. El interés de estos autores por las matemáticas está relacionado con el mundo de la guerra (la ingeniería militar y la artillería) y con su condición de cortesanos y miembros de los grupos sociales dominantes: el ennoblecimiento de las matemáticas mediante el redescubrimiento y celebración de los grandes matemáticos griegos formaba parte de su estrategia para presentar su identidad profesional como adecuada a las capas más elevadas de la sociedad cortesana.⁹

Finalmente, en el ámbito de la técnica y de las matemáticas aplicadas hay que señalar la enorme difusión, favorecida por la imprenta, e influencia de las obras de autores clásicos como Vitrubio, Vegecio (s. IV d.C.), Herón, Plinio, Arquímedes y las *Cuestiones mecánicas* pseudoaristotélicas. Los ingenieros y arquitectos renacentistas se sirvieron ampliamente de estos autores. La concepción vitruviana del arquitecto, que implicaba una amplia variedad de temas y saberes, como la mecánica (en cuanto daba razón de las máquinas), la geometría, la perspectiva, la astronomía-astrología y la música, se advierte en la biblioteca de un arquitecto-ingeniero como Juan de Herrera, o en las fuentes utilizadas por Jerónimo Prado y Juan Bautista Villalpando en su monumental obra dedicada a reconstruir el templo de Salomón.¹⁰

Para caracterizar el legado clásico en el terreno de la ciencia y dar cuenta de sus transformaciones en la Revolución científica, los historiadores han propuesto varias interpretaciones. Thomas Khun, el célebre autor de la *Estructura de las revoluciones científicas*, en otro trabajo propuso distinguir entre las ciencias clásicas y las ciencias baconianas.¹¹ Las ciencias clásicas cultivadas ya en la Antigüedad serían la astronomía, la armonía, las matemáticas, la óptica y la estática, a las cuales se sumó a finales de la Edad Media el tema del movimiento local que comenzó a estudiarse separado del tema general del cambio. La denominación de clásicas a estas disciplinas se debe a que estos campos de estudio ya se cultivaron en la Antigüedad helenística de forma especializada, con vocabularios y técnicas inaccesibles al lego, dando lugar a una literatura dirigida exclusivamente a quines poseían una preparación adecuada. En estas disciplinas se realizaron experimentos y

⁹ Véase Rose (1975) y Biagioli (1989).

¹⁰ Véase Navarro Brotons (2008) y la bibliografía citada en este trabajo.

¹¹ Kuhn (2006).

observaciones desde la Antigüedad, aunque su papel habría sido el de contratación o confirmación de teorías ya formuladas o el de obtención de respuestas concretas a determinadas cuestiones derivadas de la teoría dominante.

Este papel de la experimentación y la observación en las ciencias clásicas contrastaría, de acuerdo con Kuhn, con el desempeñado en las *ciencias baconianas*. Estas serían campos de investigación que debieron su categoría de ciencias a la insistencia característica de los filósofos naturales del siglo XVII en la experimentación y en la recolección de descripciones o historias naturales, incluidas las historias de los oficios. A este grupo pertenecerían el estudio del calor, la electricidad, el magnetismo y los procesos químicos. Los practicantes de las ciencias baconianas deseaban observar la forma en que la naturaleza se comporta en condiciones no observadas ni existentes con anterioridad, condiciones en las que nunca se habría encontrado sin mediar la intervención del hombre, es decir, lo que el propio Bacon describió como retorcerle la cola al león. Aquellos estudiosos que colocaron semillas, peces, ratones y sustancias químicas en el vacío artificial de un barómetro o una máquina neumática manifestaban esta actitud hacia la experiencia. Esta nueva actitud experimental estaría estrechamente asociada con la nueva manera de entender las relaciones entre arte y naturaleza, basada en el rechazo de una diferencia esencial entre las cosas naturales y artificiales.

En este esquema no figuran las ciencias de la vida. Kuhn lo reconoce y apunta que se podrían hacer distinciones similares y considerar a la anatomía y la fisiología como ciencias clásicas.

Según Kuhn, la revolución científica habría consistido en una profunda transformación de las ciencias clásicas basada más en una nueva manera de considerar fenómenos ya conocidos que aun conjunto de descubrimientos experimentales imprevistos. En cuanto al movimiento baconiano, su repercusión cabría considerarla más en relación con la constitución de nuevos campos científicos y en que la experimentación se introdujera en todas las áreas de las ciencias naturales que recurrirían a ella a partir de entonces de forma sistemática.

La propuesta de Kuhn, a pesar de sus méritos indudables, presenta serias limitaciones, como la señalada a propósito de las ciencias de la vida, o la distinción rígida entre las ciencias clásicas y las baconianas y su transformación en la revolución científica que hace muy difícil clasificar la obra de autores como Galileo, Mariotte, Huygens, Descartes o el propio Newton (Kuhn señala a Mariotte y Huygens como excepciones, sin clarificar mucho el asunto). Otra de las limitaciones de esta propuesta es la cuestión de los instrumentos, que habría que asignar

a las ciencia baconianas siguiendo la lógica de Kuhn, lo que es poco clarificador de la función que desempeñaron en la revolución científica.

Tratando de superar estas limitaciones, Floris Cohen ha propuesto distinguir dos formas de conocimiento de la naturaleza en la Antigüedad clásica: uno sería el matemático, que tuvo como centro principal Alejandría, de ahí que Cohen lo llame el modo o pensamiento alejandrino. El otro, el filosófico que en el período original se centró en Atenas. Las diferencias entre ambos modos sería:

1. En el filosófico la operación central sería explicar partir de primeros principios; en el alejandrino, describir en términos matemáticos. Los primeros principios de postularían como indudables a partir de una mezcla de evidencia interna e ilustración empírica. En cambio, en el modo alejandrino orientado a establecer regularidades matemáticas no se pretendería un conocimiento indudable, sino conjetural o probable, ni existiría una ontología subyacente.
2. El modo ateniense se manifestó en cuatro escuelas (platonismo, aristotelismo, estoicismo, atomismo o epicureísmo) rivales, a las que se sumaría otra tradición, el escepticismo. El modo alejandrino se presentó en una sola forma.
3. En el modo ateniense los fenómenos empíricos se presentan como muestras o ejemplos para ilustrar la validez de los principios. En el modo alejandrino, los fenómenos empíricos sirven como puntos de partida del análisis matemático.
4. En el modo ateniense el objetivo y la pretensión era conseguir captar o aprehender con firmeza la realidad, en términos cualitativos; en el alejandrino los fenómenos reales se iban desvaneciendo en un proceso de creciente abstracción donde lo que importaba era la exactitud. La prueba de Arquímedes de la balanza se aplica no a una balanza real sino a líneas rectas a las que se han asignados números que representan pesos.
5. El modo ateniense trataba de abarcar el todo, era exhaustivo; el alejandrino, se orientaba a cuestiones u objetos particulares.
6. El modo ateniense se difundió en el mundo helenístico y romano a lo largo de siete siglos. El alejandrino fue cultivado por un reducido número de autores en algunas pocas ciudades como Alejandría, Rodas, Perga o Siracusa, aunque su centro principal fue Alejandría, durante unos cuatro siglos.

7. Cualquier persona con un mínimo nivel de cultura filosófica podía intervenir en el debate; en cambio, intervenir en las disciplinas matemáticas alejandrinas requería una formación especializada.¹²

Floris Cohen reconoce que la separación entre los dos modos no fue tan rígida como la presenta, y que hubo solapamientos, si bien los esfuerzos de síntesis fracasaron. Este sería precisamente uno de los grandes logros de la Revolución Científica: la síntesis entre el modo ateniense y el alejandrino, profundamente transformados, lo que fue posible además por la intervención de otros factores o elementos. En particular, por lo que el propio Cohen llama “Europe’s coercive empiricism”. Desde mediados del siglo XV, bajo el impulso de los descubrimientos geográficos y las transformaciones políticas, económica, sociales y culturales de Europa, se produce un interés creciente por las cosas particulares y por describirlas, catalogarlas, e inventariarlas: plantas, animales, fósiles, estrellas, fenómenos magnéticos, accidentes geográficos, monstruos, y todo tipo de objetos naturales y artificiales, junto al interés anticuario al que nos hemos referido anteriormente. Por otra parte, la literatura de secretos y la magia natural, enormemente popular en el Renacimiento, insistía en la experiencia directa como fuente del conocimiento y promocionaban la idea del conocimiento como acción y potencia activa del ser humano. Esta orientación práctica del conocimiento también se manifestó en las múltiples aplicaciones de las matemáticas a las que nos hemos referido anteriormente (técnica, en general, arquitectura, perspectiva, fortificación, cartografía, náutica, comercio, etc.).¹³ Todo este “empirismo” se emparentaría con las “ciencias baconianas” de Kuhn, pero lo que hoy nos resulta inaceptable de la propuesta de Kuhn es su separación de estas ciencias de las clásicas o matemáticas. Con este proceder, el proceso de construcción de la ciencia moderna y en particular esa nueva manera de considerar fenómenos ya conocidos que condujo a la transformación de las ciencias clásicas resulta difícilmente explicable en términos de causalidad histórica.

Las obras de Galileo y Kepler, por su importancia crucial en el proceso de construcción de la ciencia moderna, son especialmente relevantes para discutir los procesos de continuidad y cambio. Además, las contribuciones de estos dos autores, que nacieron con una diferencia de 7 años, se pueden considerar en cierto modo y retrospectivamente, complementarias. Los dos contribuyeron mucho, sino decisivamente, al nacimiento de la física y la astronomía modernas. Galileo inauguró la era de la observación telescópica y aportó con sus observaciones datos de la mayor importancia para la unificación de los cielos y la tierra, es

¹² Véase Cohen (2004, 2005).

¹³ Véase Eamon (1994), sobre la literatura de secretos.

decir, para la cosmología copernicana. Asimismo, construyó una teoría matemática del movimiento de los graves y sentó las bases de una nueva concepción del movimiento, concepción compatible con la teoría heliocéntrica. Pero Galileo mostró poco interés por los modelos del movimiento planetario y por la dinámica celeste, presentando en el *Dialogo* una versión muy simplificada de dicho movimiento, aunque no dejó de especular sobre el Sol como “ministro máximo de la naturaleza” que infundiría a los otros cuerpos “no sólo la luz, sino también el movimiento”. Por su parte, Kepler dedicó gran parte de sus esfuerzos a construir una nueva astronomía basada en causas físicas: una auténtica astronomía heliocéntrica que estableciera la verdad de la teoría de Copérnico mediante principios físicos. Al propio tiempo, hizo contribuciones significativas a las matemáticas y a la óptica, proporcionando una teoría óptica del telescopio, instrumento que Kepler apenas usó en sus investigaciones astronómicas, aunque fue uno de los primeros en legitimar su uso.¹⁴

Galileo fue profesor de matemáticas en las universidades de Pisa y Padua y después “matemático y filósofo” del gran duque de Toscana, título que él mismo solicitó. Esto último forma parte de sus esfuerzos por construir su identidad como científico en el campo cultural en el que vivían, en el que pervivía todavía la jerarquía medieval de las disciplinas. Galileo aspiraba al reconocimiento de las disciplinas matemáticas como competentes para tratar cuestiones de filosofía natural y de cosmología. Por otra parte, además de su intensa formación en matemáticas, Galileo había adquirido también una excelente formación en filosofía y lógica aristotélico-escolástica, sobre todo a partir del estudio de las obras de los jesuitas del Colegio Imperial. Así, el cuerpo de conocimientos de Galileo iba desde las matemáticas y sus múltiples aplicaciones, incluidas la música o armonía, la ingeniería, y la arquitectura, a la lógica y la filosofía, en sus diferentes corrientes y tradiciones.

La cuestión de la metodología de Galileo y del papel de la experimentación en sus investigaciones sigue siendo debatida entre los estudiosos de su obra. Parece indudable que realizó experimentos como técnica heurística o inventiva. Así, el joven Galileo participó, al parecer, en las investigaciones experimentales de su padre acerca de las variables asociadas a los tonos en diversos instrumentos musicales. Y en sus investigaciones sobre el movimiento realizó experimentos para estudiar la forma de la trayectoria de los proyectiles, y comprobó que dicha trayectoria era siempre curva y simétrica, de forma parabólica y similar a una catenaria, si se comparaba esta simetría con el movimiento pendular. Se valió asimismo de planos inclinados rectos y de otros de curvatura circular para investigar la aceleración natural

¹⁴ La literatura sobre Galileo y Kepler es inabarcable. Como introducción, véanse las síntesis sobre la Revolución Científica arriba citadas.

de los graves y el comportamiento de los osciladores naturales. También investigó experimentalmente la fuerza del choque. Galileo intentó organizar todos sus descubrimientos en un *corpus* doctrinal a la manera arquimediana, es decir, geométrica y deductiva, a partir de principios y supuestos indudables, para construir una mecánica unificada, síntesis de la estática y la dinámica. Pero Galileo no pudo resolver todos los problemas de fundamentación y consistencia de esta ciencia. Es completamente erróneo atribuirle el uso o conciencia del llamado método hipotético-deductivo. En su obra de madurez en la que presentó sus resultados en mecánica, los *Discursos y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias* (1638) Galileo no trató los principios de la nueva ciencia como hipotéticos, porque debían ser verdaderos y evidentes; no eran meramente racionales, porque debían ser confirmados por la experiencia, lo que no significa confirmación de consecuencias, sino que se refiere al proceso por el que los principios se hacen evidentes al intelecto. No obstante, es indudable que Galileo hizo contribuciones de la mayor importancia hacia la síntesis de las tres tradiciones: matemática, filosófica y empírica o experimental.

Como para Galileo, para Kepler las matemáticas eran también fundamentales para dilucidar las cuestiones de filosofía natural. Kepler, ya en su primera obra, el *Mysterium Cosmographicum* se muestra convencido de que Dios había creado el mundo siguiendo un plan o modelo, que sería el arquetipo de la estructura del mundo, una idea de clara inspiración neoplatónica. Este modelo se basaría en las relaciones matemáticas entre los poliedros regulares (los cuerpos “platónicos”) y las órbitas planetarias cuyo acuerdo tendría que ser, no obstante, verificado empíricamente. Por otra parte, Kepler consideraba que tenía que haber un acuerdo perfecto entre las causas finales, formales y eficientes: un Universo estructurado en tres niveles, de modo que el geométrico vincularía el físico al arquetípico a modo de traslación espacial de lo divino. Así, los niveles representarían o se reflejarían entre sí en “armonía arquitectónica”. Por otra parte, a diferencia de otros neoplatónicos, Kepler no trató de trascender el mundo “del vulgo” para revelar el “misterio del universo”, sino que contrastó las hipótesis de los arquetipos con los datos empíricos, que consideró indicadores pertinentes de la última naturaleza de la realidad. Estas son las claves que permiten entender el proceso de descubrimiento de las llamadas leyes de Kepler. La obra en la que dio a conocer las dos primeras leyes la llamó *Nueva astronomía fundada en causas, o Física celeste* (1609). La tercera ley apareció formulada en sus *Cinco libros acerca de la armonía del mundo* (1619) en el que se desarrollan principios y argumentos de tipo geométrico, arquitectónico, armónico, astronómico y metafísico. En su obra de madurez, el *Epítome astronomiae copernicanae* (1618-21), Kepler presentó un compendio de sus descubrimientos y realizaciones en el ámbito

de la astronomía y la física celeste, y continuó legitimando su astronomía física en los arquetipos. No obstante, Kepler también fue advirtiendo cada vez más la dificultad de adaptar el mundo material y físico al arquetípico.

Concluiré con un breve comentario sobre la influencia de los matemáticos clásicos en el desarrollo de las matemáticas en el siglo XVII. En el desarrollo de las matemáticas puras el estímulo más importante en la Edad Moderna europea procedía de la asimilación de las realizaciones procedentes de dos culturas: la clásica griega y la cultura árabe. La primera era principalmente geométrica mientras que la segunda había desarrollado un arsenal de técnicas y métodos algebraicos. Por otra parte, a finales del Renacimiento hubo una intensa preocupación por el método (por métodos generales) del que las matemáticas habían proporcionado tres modelos: el combinatorio, el axiomático y el analítico. Los *Elementos* de Euclides constituían el paradigma del método axiomático, si bien los matemáticos de la Revolución Científica lo aplicaron menos frecuentemente que los griegos y lo valoraron más por su utilidad didáctica y expositiva que por su rigor demostrativo. En cambio hubo mucho mayor interés por los métodos analíticos, alimentado por algunos textos de la Antigüedad clásica, especialmente los de Pappus, que informaban fragmentariamente acerca de la existencia de un método especial para resolver problemas geométricos llamado “análisis”. Este método contrastaba con el estilo riguroso axiomático-deductivo de presentación y demostración, que era el propio de los tratados más paradigmáticos de las matemáticas clásicas, de Euclides, Apolonio de Perga o Arquímedes. Este estilo requería pruebas rigurosas y demostraciones, pero no proporcionaba ni exigía explicaciones de cómo se habían encontrado los resultados. El análisis, en cambio, era principalmente un método de invención para resolver problemas geométricos.

Los matemáticos del siglo XVII mostraron un especial interés por el análisis. Puede afirmarse que la preocupación por el método de análisis condujo a las tres principales realizaciones de ésta época: el álgebra literal, la geometría analítica y el cálculo; asimismo, proporcionó las dos características estilísticas distintivas de las matemáticas del periodo moderno: la unión del álgebra y la geometría y la relajación del rigor en las pruebas.

Uno de los principales arquitectos del álgebra literal o simbólica fue François Viète. Vieta compartía con otros matemáticos la convicción que los matemáticos griegos poseían un método de análisis para resolver los problemas geométricos. En 1591 publicó un libro titulado *In artem analyticem isagoge* (introducción al arte analítico) en el que afirmaba haber reconstruido el antiguo método de análisis, que contendría una parte de naturaleza algebraica (pero diferente al álgebra de origen árabe), y que se había mantenido en secreto. Así,

inspirado por ejemplos de la Antigüedad, y especialmente por Diofanto, elaboró una nueva álgebra aplicable tanto a la aritmética como a la geometría.

Una inspiración similar es la que llevó a Descartes a desarrollar la geometría analítica. Conviene subrayar en este sentido lo que uno de los máximos estudiosos de la geometría de Descartes ha mostrado: que la Geometría de Descartes y las ideas que la configuraron sólo se pueden entender si se reconoce que su principal objetivo era proporcionar un método general para resolver problemas geométricos. No obstante, y aunque Descartes estaba convencido inicialmente que los antiguos habían poseído un método de este tipo, al redactar su obra afirmó que había inventado algo nuevo, algo que los matemáticos clásicos no conocían. Y hemos de concederle que tenía toda la razón.¹⁵

¹⁵ Véase Bos (2001) y Andersen, Bos (2006).

BIBLIOGRAFÍA

Andersen, K.; Bos, H.J.M. (2006), Pure Mathematics. En: K.Park, L.Daston, *The Cambridge History of Science*, pp.696-727.

Bagioli, M. (1989), The Social Status of Italian Mathematicians, 1450-1600. *History of Science*, 27, 41-95.

Bagioli, M. (1993), *Galileo Courtier. The Practice of Science in the Culture of Absolutism*, Chicago, The University of Chicago Press.

Blumemberg, H. (1981), *Die Genesis der kopernikanischen Welt*, 3 vols. Frankfurt am Main, Suhrkamp (hay trad. inglesa en MIT press.)

Bos, H.J.M. (2001), *Redefining Geometrical Exactness. Descartes' Transformation of the Early Modern Concept of Construction*, New York, Springer.

Clericuzio, A. (2005), *La machina del mondo. Teorie e pratiche scientifiche dal Rinascimento a Newton*, Roma, Carocci.

Cohen, H.F. (1994), *The Scientific Revolution: A Historiographical Inquiry*, Chicago, University of Chicago Press.

Cohen, H.F. (2004), "A Historical-Analytical Framework for the Controversies over Galileo's Conception of Motion". En C.R. Palmerino y J.M.M.H.Thijssen, *The Reception of the Galilean Science of Motion in Seventeenth-Century Europe*, Dordrecht, Kluwer, pp.83-99.

Cohen, H.F.(2005), The Onset of the Scientific Revolution: Three Near-Simultaneous Transformations. En P.R.Anstey y J.A.Schuster, *The Science of Nature in the Seventeenth Century. Patterns of Change in Early Modern Natural Philosophy*, Dordrecht, Springer, 2005, pp.9-35.

Cohen, I.B. (1985), *El nacimiento de una nueva física*, Madrid, Alianza.

Copèrnic, N. (2000), *De les revolucions dels orbes celestes*, Barcelona, Institut d' Estudis Catalans (introducción y notas de V.Navarro; traducción del libro I de E.Rodríguez Galdeano y V. Navarro).

Cunningham, A.(1997), *The Anatomical Renaissance. The Resurrection of the Anatomical Projects of the Ancients*, Brookfield, Scolar.

Cunningham, A. (1985), "Fabricius and the "Aristotle project" in anatomical teaching and research at Padua." In A. Wear et al., *The medical Renaissance*, pp.195-223.

Dear, P. (2001), *Revolutioning the Sciences. European Knowledge and its Ambitions, 1500-1700*(Houndmills, Palgrave, 2001).

Eamon, W. (1994), *Science and the Secrets of Nature. Books of Secrets in Medieval and Early Modern Culture*, Princeton, Princeton University Press.

- Elena, A. (1985). *Las quimeras de los cielos. Aspectos epistemológicos de la revolución copernicana*. Madrid, S. XXI.
- Evans, R.J.W.; Marr, A. (eds.) (2006), *Curiosity and Wonder from the Renaissance to the Enlightenment*, Aldershot, Ashgate, 2006.
- Findlen, P. (1994), *Possessing Nature, Museums, Collections, and Scientific Culture in Early Modern Italy*, Berkely, University of California Press.
- Garin, E. (1981), *La revolución cultural de Renacimiento*, Barcelona, Crítica.
- Gómez López, S. (2005), Natural Collections in the Spanish Renaissance. En: M. Beretta (ed.), *From Private to Public. Natural Collections and Museums*, Sagamore Beach. MA, Science History Pub., pp.13-41.
- Granada, M.A. (2000), *El umbral de la modernidad. Estudios sobre filosofía, religión y ciencia entre Petrarca y Descartes*, Barcelona, Herder.
- Hall, A.R. (1985), *La revolución científica*, Barcelona, Crítica, 1985.
- Henry, J. (1997), *The scientific Revolution and the Origins of the Modern Science*, London, Macmillan, 1997.
- J.M.López Piñero, V.Navarro y E-Portela, *La revolución científica* (Madrid, Historia 16, 1989).
- Jardine, L. (1999), *Ingenious Pursuits: Building the Scientific Revolution*, London, Little, Brown and Co..
- Koyré, A. (1961), *La révolution astronomique. Copernic, Kepler, Borelli*, Paris, Hermann.
- Koyré, A. (1977), *Estudios de historia del pensamiento científico*, Madrid, Siglo XXI.
- Kuhn, T.S. (1978), *La revolución copernicana*, Barcelona, Ariel.
- Kuhn, T.S. (2006), "Mathematical versus Experimental Tradition in the Development of Physical Science". En *The Essential tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, Chicago, University of Chicago Press, pp. 31-65.
- Lindberg, D.; Westman, R. (eds.) (1990), *Reappraisals of the Scientific Revolution*, Cambridge-New York-Melbourne.
- Livingston, D.N.(1992), *The Geographical Tradition. Episodes in the History of a Contested Enterprise*, Cambridge, MA., Blackwell.
- López Piñero, J.M. (dir.) (2002), *Historia de la ciencia y de la técnica en la corona de Castilla. Siglos XVI y XVII*, Valladolid, Junta de Castilla y León.
- Margaret J. Osler (ed.), *Rethinking the Scientific Revolution* (Cambridge, Cambridge Univ. Press.

Navarro Brotons, V.; Eamon, W. (2007), *Mas allá de la Leyenda Negra. España y la Revolución Científica (Beyond the Black Legend: Spain and the Scientific Revolution)*, Valencia, Instituto de Historia de la Ciencia y Documentación López Piñero.

Navarro Brotons, V. (2008), "Mechanics in Spain at the end of the 16th century and the Madrid Academy of Mathematics. In W.R.Laird and S.Roux, eds., *Mechanics and Natural Philosophy before the Scientific Revolution*, Dordrecht, Springer, pp.239-258.

Nutton, V. (1988), *From Democeded to Harvey: Studies in the History of Medicine from the Greeks to the Renaissance*, Variorum Reprints, London, 1988.

O'Malley, C. (1964), *Andreas Vesalius of Brussels, 1514-1564*, Berkeley, University of California Press.

Olmi, G. (1992), *L'inventario del mondo: Catalogazione della natura e luoghi del sapere nella prima età moderna*, Bologna, Il Mulino.

Ordóñez, J.; Navarro, V.; Sánchez Ron, J.M. (2004), *Historia de la ciencia*, Madrid, Austral.

Osler, M.J. (ed.) (2000), *Rethinking the scientific revolution*, Cambridge, Cambridge University Press.

Pagel, W. (1979), *Le idée biologiche di Harvey. Aspeti scelti e sfondo storico*, Milan, Feltrinelli, 1979.

Park, K.; Daston, L. (2006), *The Cambridge History of Science. Early Modern Science*, New York, Cambridge University Press.

Pomian, K. (1987), *Collectionneurs, amateurs et curieux*. Paris, Venise : XVIe-XVIIIe siècle, Paris, Gallimard.

Ptolomeo (1983), *Cosmografia* (Códice latino. Biblioteca Universitaria de Valencia, Siglo XV), 2 vols., València, Vicent García eds. (edición facsímil; estudio preliminar por V.Navarro; traducción y notas por A.Aguirre, V.Navarro y E.Rodríguez).

Randles, W.G.L. (1985), La naissance d'un concept nouveau à l'époque des grandes découvertes maritimes: le globe terraque, *Revista da Universidade de Coimbra*, 33, 329-338.

Randles, W.G.L. (1990), *De la tierra plana al globo terrestre. Una rápida mutación epistemológica 1480-1520*, México, Fondo de Cultura Económica.

Randles, W.G.L. (1994), "Classical Models of World Geography and Their Transformation Following the Discovery of America." En: W.Haase y M.Reinhold, eds., *The Classical Tradition and the Americas*, Berlin-New York, Walter de Gruyter, Vol.I, pp. 6-76.

Randles, W.G.L. (2000), *Geography, cartography and Nautical Science in the Renaissance*, Aldershot, Ashgate.

- Reeds K.M. (1976), Renaissance Humanism and Botany, *Annals of Science*, 33, 519-542.
- Reeds, K.M. (1991), *Botany in Medieval and Renaissance Universities*, Garland, New York and London.
- Rose, P.L. (1975), *The Italian Renaissance of Mathematics. Studies on Humanism and Mathematics from Pretarch to Galileo*, Genève, Droz.
- Rossi, P. (1998), *El nacimiento de la ciencia moderna en Europa*, Barcelona, Crítica.
- Sellés, M.; Solís, C. (1994), *Revolución Científica*, Madrid, Síntesis.
- Shapin, S., *The Scientific Revolution*, Chicago, University of Chicago Press (hay traducción al castellano).
- Swerdlow, N.M.; Neugebauer, O. (1984), *Mathematical astronomy in Copernicus's De revolutionibus*, New York, Springer.
- Temkin, O.(1973), *Galenism: Rise and Decline of a Medical Philosophy*, Ithaca, Cornell University Press.
- Vernet, J.; Parés, R.(dirs.) (2007), *La ciència en la història dels Països Catalans*, Institut d'Estudis Catalans-Universitat de València, Barcelona- Valencia, 2º vol..
- Wear, A.; French, R.; Lonie, I.M. (1985), *The Medical Renaissance of the Sixteenth Century*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Vogel, K.A. (1995), *Sphaera terrae: Das mittelalterliche Bild der Erde und die Kosmographische Revolution*, Ph.D. Dissertation, Universität Göttingen.
- Wear, A. ; French.R.; Lonie I.M. (eds) (1985), *The Medical Renaissance of the Sixteenth Century*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Westfall, R.S. (1990), *La construcción de la ciencia moderna* , Barcelona, Labor.